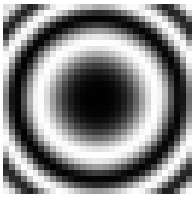
COSAC



Calculs
Optiques
Simplifiés pour
Analyse de
Combinaisons

Présentation Générale
Version 2.9.2

Auteur : François Hénault – 1er décembre 2014

1. INTRODUCTION 3

2. PRESENTATION GENERALE 4

2.1 HISTORIQUE 4
2.2 COSAC EN TROIS PARAGRAPHES 7
2.3 LIMITATIONS 7
2.4 LES PRINCIPALES INSTRUCTIONS 8
2.4.1 Définition du faisceau des rayons 8
2.4.2 Changements de repères 8
2.4.3 Surfaces optiques 9
2.4.4 Performances géométriques 9
2.4.5 Surfaces d'onde et diffraction 10
2.4.6 Utilitaires 10
2.4.7 Super-instructions 10
2.5 LES INTERFACES LOGICIEL 11
2.5.1 Vue d'ensemble 11
2.5.2 COSAC / ZEMAX 12
2.5.3 Bibliothèques de verres 13
2.5.4 COSAC / CODE 5 13
2.5.5 COSAC / SCION Image / IDL / EXCEL 14

3. MODE D'EMPLOI 15

3.1 INSTALLATION DU PROGRAMME 15
3.1.1 Les fichiers indispensables 15
3.1.2 Quelle version de COSAC pour quel système ? 16
3.1.3 Un exemple d'arborescence 17
3.2 UTILISATION DU PROGRAMME 18
3.2.1 Trois étapes fondamentales 18
3.2.2 Exécution de COSAC en mode interactif 20
3.2.3 Exécution de COSAC en mode batch 21

4. ECRITURE DU FICHIER D'ENTREE 22

4.1 INTRODUCTION 22
4.2 DEFINITION DES AXES 23
4.3 TYPE DES REPERES 24
4.3.1 Utilisation d'un repère absolu 25
4.3.2 Repère glissant suivant l'axe optique 26
4.3.3 Changements de repère imposés 26
4.4 ORDRE DES SURFACES 27
4.4.1 Tracé de rayons séquentiel 28
4.4.2 Tracé de rayons non-séquentiel 28
4.5 UNITES PHYSIQUES 30

5. CONDITIONS D'UTILISATION 31

6. CONCLUSION 32

1. INTRODUCTION

COSAC (Calculs Optiques Simplifiés pour Analyse de Combinaisons) est un moteur de calculs optiques par tracé de rayons, qui a été imaginé, puis développé dans le cadre de mes travaux sur la concentration de l'énergie solaire (IMP CNRS Odeillo, 1983-1987), puis sur des instruments d'optique spatiaux (pour la société Aérospatiale, 1988-2000), les spectromètres 3D construits à l'Observatoire de Lyon (2001-2005) et les recombineurs interférométriques de l'Observatoire de la Côte d'Azur (2006 et +). Ce document contient une présentation générale du logiciel, composée des chapitres suivants :

- Le **chapitre 2** contient une description générale de COSAC, concise mais suffisamment détaillée pour que le lecteur puisse juger de l'intérêt de pousser plus loin.

- Le **chapitre 3** explique le fonctionnement du programme, et comment l'exécuter sur différents calculateurs. A ce moment, on se rendra compte que la principale difficulté consiste (comme toujours) à écrire un fichier d'entrée contenant le système optique et les différentes instructions à suivre.

- Le **chapitre 4** expose alors les principales conventions de calcul et d'écriture à respecter absolument pour créer ce fichier d'entrée (lecture indispensable pour le futur utilisateur).

Pour aller plus loin, il faudra alors se plonger dans le **mode d'emploi détaillé** (vol. 1 et 2), contenant la description des principales instructions, et les **exemples** de cas où le logiciel a été réellement utilisé.

2. PRESENTATION GENERALE

2.1 HISTORIQUE

Prélude à COSAC (1985-1987)

L'idée originale de COSAC remonte à l'époque où j'étais chargé de modéliser les répartitions de flux concentré par les grandes installations solaires, tels le Four Solaire de 1000 KW d'Odeillo et la centrale expérimentale THEMIS de Targassone (travaux de thèse effectués à l'IMP CNRS Odeillo). Bien sûr, mes programmes informatiques développés alors (car il y en eut plusieurs) ne présentaient pas la même forme et ne portaient pas ce nom, mais leur structure algorithmique était identique (tracé de rayons par paquets, changements de repère avant et après chaque surface optique, modularité des sous-programmes…). A partir des caractéristiques des rayons réfléchis, on calculait finalement les performances radiométriques des installations solaires (distributions d'éclairement, flux total, et répartitions de luminance vues d'un point).

COSAC 1.0 (1992)

Ces principes furent réutilisés dans le cadre du programme ISO (satellite d'observation astronomique infrarouge construit par la société Aérospatiale, pour l'ESA), afin de résoudre un problème particulier, que les logiciels optiques de l'époque ne permettaient pas de traiter commodément. Il s'agissait de calculer, par comptage de rayons, les taux de vignettage du télescope ISO et de ses collimateurs de contrôle : l'ensemble constituait un système comportant de nombreux changements de repères et des surfaces optiques spécifiques (miroir pyramidal à 4 faces). Par la suite le logiciel, dénommé COSAC (Calculs Optiques Simplifiés pour Analyse de Combinaisons), fut remanié de nombreuses fois, pour des besoins ISO et HELIOS, et plus spécialement orienté vers l'exploitation des résultats d'essai : il s'agissait alors de simuler les performances d'un instrument optique en cours de réalisation (en réutilisant les données expérimentales, par exemple des cartes des défauts de surfaces d'onde mesurées à l'aide d'un interféromètre-laser, et converties au format CODE 5). Bien que COSAC ne soit a priori pas destiné à l'optimisation des systèmes, un tel module lui fut également rajouté.

COSAC 2.0 (1995)

Dans un deuxième temps, le logiciel a été utilisé sur le projet IASI (sondeur atmosphérique infrarouge basé sur un interféromètre de Michelson, pour le CNES), pour la modélisation des répartitions d'éclairement formées sur les détecteurs, et l'évaluation du contraste de l'interféromètre. A cette occasion, il s'est enrichi d'une capacité de calcul sur les surfaces optiques en mode non-séquentiel. Il a également acquis la possibilité de stocker la plupart de ses résultats (WFE, PSF, FTM, tableaux personnalisés...) sous forme de fichiers ASCII directement lisibles par des programmes de visualisation des données (EXCEL, IDL...).

COSAC 2.1 (1998)
Remaniement mineur du précédent (augmentation du nombre de rayons, calcul et sorties des PSF et FTM complexes, introduction simplifiée des miroirs "off-axis"), à l'époque où COSAC devait être utilisé sur le projet DARWIN (interféromètre spatial chargé de la détection d'exo-planètes).

COSAC 2.2 (avril 1999)
Introduction de sources étendues et remise en service des calculs photométriques et radiométriques d'Odeillo (flux, éclairements). Capacité de définir des apodisations en énergie sur n'importe quelle surface optique (exemple: non-uniformité spatiale des détecteurs IASI). Coins de cube fictifs. Passage du FORTRAN Vax au FORTRAN Unix.

COSAC 2.3 (octobre 1999)
Introduction de guides d'onde en mode non séquentiel (fibres, concentrateurs coniques CPC), et vérification de la compatibilité an 2000 (quelle affaire !).

COSAC 2.4 (2000)
Introduction de calculs en mode interférométrique pour IASI, mais également utilisables sur DARWIN. Toutes les opérations mathématiques sont maintenant effectuées en double précision[1]. Correction d'un bug qui affectait les maillages rectangulaires. Compatibilité avec FORTRAN Linux et Microsoft: pour la première fois depuis sa création, COSAC est exécutable sur PC !

COSAC 2.5 (2003)
Beaucoup de progrès marquants avec l'introduction des réseaux de diffraction, des surfaces cylindriques, et des "zones de trame", qui permettent de définir des télescopes à miroirs segmentés, des matrices de micro-lentilles ou des systèmes découpeurs d'image sans avoir recours au mode de calcul non séquentiel. De plus, COSAC sait maintenant lire et écrire les fichiers ZEMAX descriptifs des combinaisons optiques. Bref, tout ce qu'il manquait pour modéliser les spectromètres imageurs fabriqués à l'Observatoire de Lyon. En prime, l'introduction des défauts de phase ou de surface n'est plus limitée au format CODE 5: on peut maintenant passer par des fichiers ASCII sous format libre. Enfin, cette version est accompagnée de la première édition décente du **mode d'emploi détaillé** (vol. 1).

COSAC 2.5.1 (mars 2005)
Peu de nouveautés en apparence. J'ai surtout profité de la rédaction et de la publication du **mode d'emploi détaillé** (vol. 2) pour améliorer les fonctions qui y sont décrites (apodisations sur les surfaces optiques, critère d'optimisation) et corriger quelques bugs, sur l'interface ZEMAX notamment.

COSAC 2.5.2 (décembre 2005)
Là encore, peu de nouveautés apparentes. Le travail s'est concentré sur les calculs de PSF, afin d'améliorer leur souplesse et rapidité. L'utilisateur peut maintenant imposer le maillage PSF en mode de calcul FFT, y compris dans le cas de systèmes multi-ouvertures (particulièrement intéressant pour les interféromètres stellaires de type VLTI, DARWIN…)

COSAC 2.6 (été 2006)
Petit à petit, les capacités du logiciel ressemblent de plus en plus à celles d'un simulateur d'instruments optiques. Au menu de cette version 2.6, amélioration du mode d'exécution multi-objets, nouveau mode d'exécution sur un spectre continu de longueurs d'onde, extension des capacités de calcul photométrique et simulation des bruits de détection.

COSAC 2.6.1 (janv. 2007)
Révision mineure du précédent. Chasse aux bugs et introduction des calculs de couplage des faisceaux dans une fibre optique monomode.

[1] Seuls les tracés de rayons en bénéficiaient jusque là.

COSAC 2.6.2 (oct. 2007)
La diffraction de Fresnel ne date certes pas de cette version (elle était présente dès la 2.5), mais ici elle a été rendue plus puissante (exécutions multi-objets et sur spectre continu de longueurs d'onde) et propose maintenant l'introduction de filtres en amplitude dans les plans image et pupille. Voila ce qu'il manquait pour faire du filtrage spatial.

COSAC 2.6.3 (mars 2008)
Evolution mineure du précédent qui améliore les capacités de filtrage spatial.

COSAC 2.6.4 (février 2009)
Version de travail non publiée sur Internet. Utilisée pour effectuer les calculs d'un article sur le cophasage des ELT, publié dans le "Journal of Optics A: Pure Applied Optics" du mois de septembre.

COSAC 2.7 (juin 2009)
COSAC poursuit sa mutation de simulateur d'instrument, avec une meilleure modélisation des bruits de détection et ajout du bruit de digitalisation. Version utilisée pour effectuer les premiers calculs sur POPS.

COSAC 2.7.1 (février 2010)
Corrige les bugs de la version précédente et permet d'écrire directement des résultats de calcul au format bitmap.

COSAC 2.7.2 (avril 2010)
Correction des derniers bugs dans les calculs de bruits. Introduction de défauts de phase ou de surface par fonctions analytiques (polynômes de Zernike, vortex optique).

COSAC 2.7.4 (mars 2011)
Il restait encore un bug sur les magnitudes astronomiques… Notons également l'introduction d'une fonction analytique "rampe linéaire" indispensable pour modéliser le senseur de front d'onde à différentiation optique (mon préféré), et le calcul intégral de la PSF avec la formule de Rayleigh-Sommerfeld.

COSAC 2.8 (août 2011)
Amélioration des capacités d'apodisation: définition exacte des zones couvertes par les fonctions analytiques ou les fichiers externes, pré-programmation de 6 nouvelles fonctions analytiques.

COSAC 2.8.1 (avril 2012)
Ajout de deux changements de repère permettant de pointer la position du soleil dans le ciel en fonction des latitude, longitude, date, heure etc… (version simplifiée des programmes écrits à Odeillo).

COSAC 2.9.2 (décembre 2014)
Tout d'abord, on passe de 512 x 512 à 1024 x 1024 rayons maximum !
- Les changements de repère liés au soleil permettent maintenant de diriger ses rayons vers un point cible (version plus fidèle des programmes écrits à Odeillo).
- Mise à disposition d'une dizaine de fonctions analytiques supplémentaires pour introduction de défauts de surface ou de phase, possibilité de les décentrer ou de les faire tourner autour de l'axe optique.
- Possibilité de "pixeliser" certaines simulations (PSF, éclairements, franges…)

Le logiciel comporte environ 40000 lignes de code en langage FORTRAN 77. Il reste bien sûr un certain nombre de bugs, qui sont corrigés dès que leur apparition est remarquée. Les développements futurs de COSAC sont potentiellement nombreux, mais ne font pas l'objet de ce document.

2.2 COSAC EN TROIS PARAGRAPHES

COSAC est un programme de tracé de rayons qui calcule, surface après surface, les points d'impact et les directions des rayons réfléchis ou réfractés par un ensemble de surfaces optiques. Le faisceau d'entrée (conique ou cylindrique) et les surfaces optiques sont définies au moyen d'instructions à six caractères, suivant l'ordre où elles sont rencontrées lorsqu'on suit la propagation des rayons dans le système optique. L'ensemble de ces instructions et les directives de sortie (définissant les calculs à effectuer) est placé dans un fichier d'entrée (avec l'extension ***.dat***), qui sera lu, interprété, et approuvé par le programme.

Au début de son exécution, COSAC ouvre un fichier de sortie (avec l'extension ***.out***) qu'il va remplir au gré de l'utilisateur, en fonction des directives de sortie lues dans le fichier d'entrée, suivant l'ordre où le programme les a rencontrées. Définitions de surfaces optiques et calculs de performance (instructions de sortie) peuvent être alternées, de sorte qu'il est possible d'obtenir des sorties intermédiaires, bien avant d'arriver au plan focal de l'instrument. Les performances en temps de calcul sont en général équivalentes, voire supérieures à celles des logiciels professionnels existants.

A la lecture de ce qui précède, on devine que COSAC est un moteur de calculs optiques, et non un logiciel de tracé de rayons complet, tel CODE 5 ou ASAP : **il ne possède pas en effet de représentation graphique du système optique modélisé** (l'utilisateur doit suivre le chemin des rayons en mode texte, en examinant les lignes du fichier ***.out***), et ses sorties graphiques sont rudimentaires[1]. Pour pallier ce dernier inconvénient, COSAC propose des directives de sortie qui permettent de sauvegarder la majorité des résultats dans des fichiers ASCII, eux-mêmes lisibles par d'excellents logiciels de visualisation (EXCEL, IDL...) Et, pour la représentation graphique du système optique, on dispose aujourd'hui d'une interface avec ZEMAX (voir § 2.5.2).

2.3 LIMITATIONS

COSAC présente un certain nombre de limitations fixées dans le code source FORTRAN 77[2] :

- 1024 instructions maximum dans le fichier d'entrée.
- 1024 surfaces maximum dans le système optique.
- 1024 x 1024 rayons maximum dans la pupille.
- 110 ouvertures de fichiers externes maximum au cours de l'exécution du programme.
- Calculs simultanés pour 1024 longueurs d'onde maximum.
- Calculs simultanés pour 64 objets ponctuels, ou une source étendue de 1024 x 1024 points.

[1] Néandertaliennes, m'ont dit certains esprits chagrins.

[2] Pour ceux qui connaissent le FORTRAN : ces limites sont fixées par des instructions PARAMETER. Il est donc relativement facile de les modifier.

2.4 LES PRINCIPALES INSTRUCTIONS

2.4.1 Définition du faisceau des rayons

Trois types d'instructions suffisent à définir un faisceau de rayons : les deux premières doivent obligatoirement figurer dans le fichier ***.dat***.

- **Objet** (instructions OBJET ou SOURCE), défini par ses coordonnées exprimées dans le repère d'origine. COSAC peut travailler simultanément avec 64 objets ponctuels différents, ou bien avec une source étendue 1024 x 1024.

- **Pupille** (instruction PUPILL), définie par ses coordonnées exprimées dans le repère d'origine. Le faisceau des rayons est délimité par un cône (ou un cylindre lorsque l'objet est situé à l'infini), qui s'appuie d'un côté sur un point (l'objet), et de l'autre, sur un maillage disposé dans le plan pupille. Quatre types de maillages sont possibles : rectangulaire, polaire, hexagonal, ou défini par l'utilisateur (rayon par rayon).

- **Longueur d'onde** (instructions LAMBDA ou SIGMA). Doit être déclarée avant tout calcul des différences de marche (OPD). Dans le cas contraire, ceux-ci seront court-circuités afin de diminuer les temps de calcul. COSAC peut travailler simultanément avec 1024 longueurs d'onde différentes (mode "Spectre").

2.4.2 Changements de repères

C'est un des points forts de COSAC. Lorsque le faisceau des rayons a été défini, il est possible de changer le repère d'origine de deux manières différentes, à n'importe quel endroit du système optique:

- Déclarer que toutes les surfaces optiques suivantes seront définies dans un nouveau repère dont on précise quelles seront les coordonnées (instruction NOUREP).

- Déclarer que toutes les surfaces optiques précédentes étaient définies dans un ancien repère dont on précise quelles étaient les coordonnées (instruction ANCREP).

Une fois le changement de repère effectué, il s'appliquera à toutes les surfaces optiques suivantes. Bien sûr, l'utilisateur peut changer plusieurs fois les repères courants au sein d'une même combinaison optique. Ces instructions sont particulièrement commodes pour introduire les désalignements d'un groupe de surfaces optiques dans le fichier ***.dat***.

REMARQUE

Secret de fabrication : ce procédé est à la base de tous les calculs optiques effectués par COSAC : avant que les rayons interceptent une surface optique, ceux-ci sont transférés dans un repère lié à l'axe optique de la surface. Après réflexion ou réfraction, ils repassent dans le repère courant, de sorte que l'opération reste invisible pour l'utilisateur.

2.4.3 Surfaces optiques

Les coordonnées de toutes les surfaces sont exprimées dans le repère courant. Les surfaces usuelles sont au nombre de trois :

- ◊ Miroirs
- ◊ Dioptres
- ◊ Surfaces fictives planes, qui permettent d'introduire des masques ou des diaphragmes.

Ces surfaces sont planes, sphériques, coniques (paraboles, hyperboles, ellipses), ou asphériques généralisées jusqu'au 6ème ordre. A chaque surface, il est possible d'associer un masque (inclus dans un plan), transparent sur fond noir ou réciproquement. Les masques disponibles actuellement sont au nombre d'une douzaine : rectangulaires, elliptiques, annulaires, triangulaires, trapézoïdaux, etc... Pour créer des motifs plus complexes, on peut superposer plusieurs masques au moyen de surfaces fictives placées au même endroit.

On a créé par la suite d'autres composants optiques : multipode (araignée à plusieurs pattes), lentille mince fictive, miroir pyramidal, coins et creux de cube, miroirs paraboliques hors d'axe, guides d'onde, concentrateurs CPC...

2.4.4 Performances géométriques

Ces sorties peuvent être demandées à n'importe quel endroit du système optique.

- ◊ Listing du système
- ◊ Ouverture numérique et diamètres des faisceaux, réels ou théoriques
- ◊ Spot diagrams
- ◊ Cartes de vignettage

2.4.5 Surfaces d'onde et diffraction

- ◊ Calcul des OPD (différences de marche)
- ◊ Calcul des pentes des OPD (aberrations transversales)
- ◊ Interférogrammes
- ◊ Calcul PSF et énergie encerclée (TF réelle)
- ◊ FTM par auto-corrélation
- ◊ Calcul PSF et FTM par FFT
- ◊ Décomposition en polynômes de Zernike ou Seidel à l'ordre 15, ce qui correspond au $5^{ème}$ ordre de l'optique géométrique
- ◊ 4 types de refocalisation automatique différents

2.4.6 Utilitaires

- Lecture des bibliothèques de verres GENII, CODE 5 et ZEMAX
- Module de détection des erreurs grossières dans le fichier d'entrée
- Gestion du fichier de sortie : saut de page, impression de commentaires, impressions escamotables pour éviter les listings monstrueux
- Possibilité de créer des fichiers de sortie supplémentaires à remplir au gré de l'utilisateur (paramètres et formats)
- Instructions abrégées pour copies de surfaces définies auparavant

2.4.7 Super-instructions

Dans son mode d'exécution normal, COSAC n'accomplit ses calculs qu'une seule et unique fois, en appliquant les types d'instructions décrits dans les paragraphes précédents. Les super-instructions peuvent forcer le logiciel à accomplir plusieurs exécutions en faisant varier automatiquement les paramètres d'entrée du système optique. Il en existe principalement deux :

⇒ Exécution en boucles (trois boucles imbriquées au maximum).
⇒ Exécution en mode optimisation.

Le calcul automatisé des tolérances mécaniques des composants optiques ne figure actuellement pas parmi les super-instructions de COSAC. Il y aurait sa place...

2.5 LES INTERFACES LOGICIEL

2.5.1 Vue d'ensemble

Au fil du temps, COSAC a été rendu compatible avec un certain nombre de logiciels (et par ricochet avec quelques moyens de mesures optiques, notamment des interféromètres-laser). Citons notamment :

- Les logiciels de calcul optique CODE 5 et ZEMAX
- Les bibliothèques de verres GENII, CODE 5, et ZEMAX
- Quelques programmes d'analyse et de représentation graphique des données, tels SCION Image, IDL, ou EXCEL
- Les logiciels d'analyse d'interférogrammes WISP 1 et WISP 2, eux-mêmes reliés à un programme de dépouillement des résultats obtenus sur le télescope ISOTEL, et au code de calcul des déformées mécaniques et thermiques NASTRAN. Hélas, ces passerelles sont devenues obsolètes avec la disparition commerciale des logiciels WISP

On a résumé sur la Figure 2-1 les principales interfaces utilisables à ce jour . Elles ne s'appliquent pas toutes aux mêmes types de données : ainsi l'interface COSAC/ZEMAX permet d'échanger les fichiers d'entrée décrivant les systèmes optiques, tandis que l'interface COSAC/CODE 5 concerne exclusivement les différences de marche (ou phases) et les amplitudes des surfaces d'onde introduites dans COSAC, ou calculées par lui. "*Last but not least*", COSAC peut exporter la plupart de ses résultats dans des fichiers ASCII, lisibles par un grand nombre de programmes d'analyse et de représentation graphique des données.

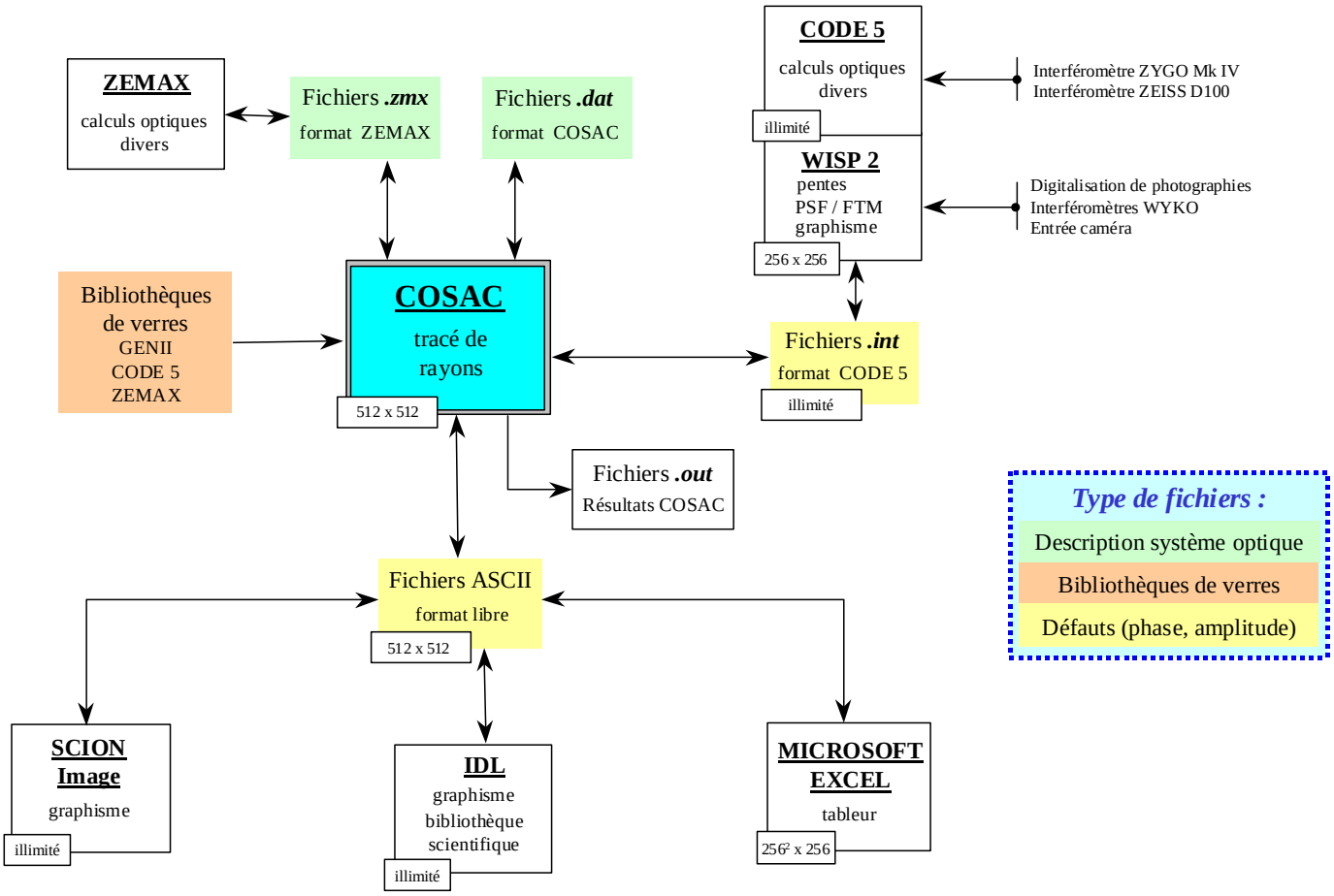


Figure 2-1 : Logiciels compatibles avec COSAC[1]

2.5.2 COSAC / ZEMAX

Cette interface permet d'échanger les fichiers descriptifs des systèmes optiques entre COSAC et ZEMAX : ZEMAX est un logiciel de calcul optique bien connu, d'un excellent rapport qualité/prix pour un produit commercial (souhaitons que cela dure…). Les deux programmes présentent un certain air de famille sur la question des changements de repère (voir le paragraphe 2.4.2), qu'ils gèrent de la même façon[2].

La passerelle COSAC / ZEMAX fonctionne dans les deux sens, car COSAC sait lire et écrire les fichiers descriptifs des combinaisons optiques de ZEMAX (avec l'extension ***.zmx***). Ainsi, il est possible d'importer un schéma optique ZEMAX dans COSAC, afin d'y effectuer des calculs spécifiques. Inversement, on pourra transformer les fichiers d'entrée COSAC (avec l'extension ***.dat***) en fichiers ***.zmx***, afin par exemple de bénéficier des capacités d'optimisation ou des visualisations graphiques de ZEMAX... L'interface fonctionne dans la plupart des cas, avec les réserves suivantes[3] :

[1] WISP 2 n'apparaît ici que pour mémoire.

[2] Pour les initiés seulement : CoordBreak et NOUREP effectuent presque exactement les mêmes opérations…

[3] Un jour, les obscures remarques qui suivent seront transférées dans le **mode d'emploi détaillé** (vol. 2). Passez vite…

- Les logiciels ne possèdent pas la même gamme de surfaces spéciales (ZEMAX en propose bien plus, même si la plupart sont d'un usage rarissime). Un message d'erreur survient lorsque celles-ci sont incompatibles.
- Les conventions de signe des changements de repère ne sont pas rigoureusement équivalentes lorsqu'un ou plusieurs miroirs figurent dans la combinaison optique. Cela est du au fait que COSAC, contrairement à la majorité des logiciels de calcul optique, ne change pas le sens de l'axe optique après chaque réflexion. En plus, les axes X, Y, et Z ne correspondent pas ! En conséquence, on est parfois obligé de changer les signes de certaines rotations après la conversion du fichier.
- Attention également aux changements de repère inverses, qui dans COSAC s'effectuent par rapport au dernier point origine (instructions ANCREP et INVREP), alors que ZEMAX raisonne par rapport à la dernière surface optique rencontrée. Exemple : dans le cas d'une lame à faces planes et parallèles inclinée par rapport au faisceau incident, COSAC effectuera le changement de repère inverse par rapport à la face d'entrée de la lame, alors que ZEMAX le fera par rapport à la face de sortie, de sorte que le décalage latéral du faisceau paraîtra différent…

2.5.3 Bibliothèques de verres

Une bibliothèque de verres est un fichier ASCII qui renferme quelques propriétés physiques des matériaux optiques, et en particulier leurs variations d'indice de réfraction en fonction de la longueur d'onde. COSAC sait lire trois types de bibliothèques issues de différents logiciels commerciaux (GENII, CODE 5, et ZEMAX), dont l'usage n'est a priori pas illégal. Toutes les explications nécessaires sont données dans le paragraphe idoine du **mode d'emploi détaillé** (vol. 1).

2.5.4 COSAC / CODE 5

Cette interface permet d'importer ou d'exporter les caractéristiques en amplitude ou en différence de marche (OPD) des surfaces d'onde optiques, échantillonnées sur un maillage régulier. Elle utilise des fichiers ASCII qui portent l'extension ***.int***, bien connue des utilisateurs de CODE 5. Le format ***.int*** est reconnu par la plupart des logiciels de calcul optique, et constitue aujourd'hui un standard utilisé sur de nombreux appareils de mesure des surfaces d'onde, tels les interféromètres-laser ZYGO ou ZEISS (ces interféromètres sont utilisés par de nombreux industriels à travers le vaste monde).

COSAC peut lire tous les fichiers ***.int*** et rajouter les défauts qu'ils contiennent sur n'importe quelle surface optique modélisée, avec déflexion réelle des rayons réfléchis ou réfractés. Les défauts peuvent indifféremment être ajoutés aux surfaces mécaniques, ou directement sur les phases. Il est ainsi possible d'introduire des erreurs simulées par CODE 5, ou bien mesurées sur des surfaces optiques réelles au moyen d'un interféromètre. Toutes les possibilités de traitement ou de modification des fichiers ***.int*** présentes dans CODE 5 (symétries, rotations, etc…) peuvent être utilisées au préalable sur ces fichiers-défauts.

De même, en sortie, les surfaces d'onde du système optique calculées par COSAC peuvent être sauvegardées dans des fichiers ***.int*** pour être traitées ultérieurement par CODE 5. On peut également générer dans COSAC des fichiers masques d'amplitude à utiliser dans CODE 5 (exemple, le tripode ISOTEL). Dans les deux cas, on profite des capacités graphiques de CODE 5. Mais il y a mieux, voir le paragraphe suivant.

IN MEMORIAM

On a cité plusieurs fois les logiciels WISP de traitement des interférogrammes, développés par la société WYKO. WISP 2, par exemple, était un bon programme compatible avec CODE 5 pour l'import-export des surfaces d'onde, et fut utilisé pour le développement de quelques interfaces mentionnées dans le paragraphe 2.5.1. Mais le logiciel et la société semblent avoir disparu…

2.5.5 COSAC / SCION Image / IDL / EXCEL

Ici, il s'agit exclusivement d'interfaces de sortie. Depuis sa version 2.0, COSAC offre en effet la possibilité de sauvegarder ses principaux résultats de calcul (OPD, PSF, FTM, ou autres résultats personnalisés) sous forme de tableaux 2D ou 3D, dans des fichiers de sortie ASCII sans en-tête, ce qui permet aux trois logiciels suivants (parmi de nombreux autres) de les lire facilement.

- **SCION Image** : Anciennement **NIH Image** développé sur MacIntosh, ce "freeware" permet d'afficher des tableaux 3D (fonctions z=f(x,y)) en fausses couleurs et d'y effectuer quelques traitements mathématiques plus ou moins élaborés. Il peut relire tous les fichiers ASCII créés par COSAC.

- **IDL** : Une des références actuelles des logiciels scientifiques et graphiques. Affichages 2D et 3D évolués. En plus, il dispose d'un langage de programmation évolué. Mais il est payant et relativement cher…

- **EXCEL** : Le tableur de Microsoft est moins scientifique, mais plus répandu que les logiciels précédents. Ses capacités graphiques sont assez bien poussées, ainsi que l'attestent certaines des figures incluses dans les documents COSAC. Quelques macros EXCEL 4 et Visual Basic ont même été développées pour la représentation de graphiques 3D issus de COSAC, mais elles sont rapidement devenues obsolètes (EXCEL évoluant trop brusquement d'une version à la suivante…).

En fait, il y a probablement bien d'autres logiciels capables d'afficher et de traiter les fichiers de sortie créés par COSAC (MATLAB, MATHEMATICA…). A vous de choisir votre favori...

3. MODE D'EMPLOI

3.1 INSTALLATION DU PROGRAMME

COSAC ne disposant pas d'une procédure d'installation automatique, l'utilisateur intéressé devra obligatoirement en passer par les épreuves suivantes :

- Se procurer une version du fichier source en FORTRAN 77, ainsi qu'un certain nombre de fichiers ***.dat*** et ***.out*** destinés à servir d'exemples.
- Exécuter la compilation et l'édition de liens du programme source sur son calculateur favori.
- Organiser les répertoires dédiés à COSAC sur le calculateur susmentionné.
- Ecrire lui-même les procédures d'exécution du programme.
- Vérifier que le programme tourne correctement à l'aide des exemples fournis.

Si vous me lisez encore, voici quelques informations utiles pour les trois premiers points, les autres étant laissés à votre seule initiative.

3.1.1 Les fichiers indispensables

Voici la liste des fichiers archive (au format ***.zip***) qu'il est souhaitable de se procurer :

TYPE	NOM	CONTENU DE L'ARCHIVE
Fichiers source	***cosacfor.zip***	Code source FORTRAN 77 de la dernière version de COSAC.
	cosacold.zip	Code source FORTRAN 77 de toutes les versions précédentes de COSAC (sur demande).
Fichiers exemple	***cosacxxx_dat.zip***	Ensemble de fichiers d'entrée ***.dat*** (ainsi que quelques cartes de défauts des surfaces optiques ***.txt*** associées) servant d'exemples. Leur liste est donnée dans les **exemples** détaillés (vol. 4). Contient également des bibliothèques de verres (***bibco5.ver***, ***bibgen.ver*** et ***mon_cat.agf***) à placer dans le même répertoire que les fichiers d'entrée.
	cosacxxx_out.zip	Ensemble des fichiers de sortie ***.out*** correspondant aux fichiers d'entrée précédents, ainsi que d'autres fichiers-résultat ***.txt*** à comparer aux sorties produites par COSAC après toute installation ou modification.

3.1.2 Quelle version de COSAC pour quel système ?

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques des différentes versions de COSAC (et la mémoire requise), vis-à-vis des divers systèmes utilisés.

			Compilateur FORTRAN				
Numéro de version	**Nombre de rayons**	**Mémoire requise (RAM + Swap)**	FORTRAN VMS	f77 Unix	g77 Linux	Microsoft FORTRAN Power station	Force 2.0
COSAC 1.0	256*256	62 Mo	O	N	N	N	?
COSAC 2.0	512*512	250 Mo	O	N	N	N	?
COSAC 2.1	1024*1024	1 Go	O	?	N	N	?
COSAC 2.2	1024*1024	1 Go	O	O	N	N	?
COSAC 2.3	1024*1024	1 Go	O	O	N	N	?
COSAC 2.4	512*512	250 Mo	?	O	O	O	?
de COSAC 2.5 à 2.6.2	512*512	250 Mo	?	?	?	O	?
COSAC 2.6.3	512*512	250 Mo	?	?	?	O	?
COSAC 2.7 et plus	512*512	250 Mo	?	?	?	O	O

O = Validé
N = Incompatible

Au vu de ce qui précède, on ne peut donc que conseiller d'utiliser les versions 2.4 et ultérieures, plus achevées et mieux déboguées. Par ailleurs, elles seules disposent d'une documentation électronique qui s'est étoffée au fil du temps, depuis la 2.4 limitée à ce seul volume jusqu'à la 2.6.3 enfin complète avec les **exemples détaillés**.

LE POINT DE VUE DU PROGRAMMEUR

Pourquoi des résultats aussi divers sur différentes machines et compilateurs ? Parce que ceux-ci ne respectent pas les mêmes règles du FORTRAN 77. Depuis la version 2.4, COSAC est en conformité avec sa forme canonique, décrite dans le document "Professional Programmer's Guide to Fortran 77" de Clive C. Page (University of Leicester, UK). Quelques exemples:

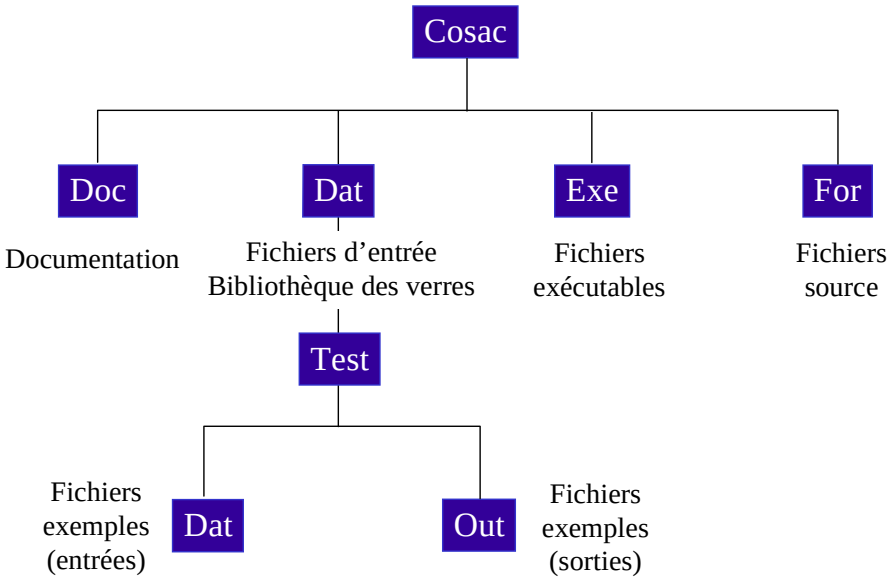
- Alors que les règles citées plus haut interdisent les lectures dans les chaînes de caractères au format *, f77 Unix/Linux et Watcom FORTRAN les acceptent.
- Ces règles stipulent que les fonctions intrinsèques (SQRT, SIN, COS, etc...) doivent être écrites sous leurs formes génériques quels que soient les types d'arguments. Pourtant, Watcom FORTRAN et f77 Unix (DEC) exigent des formes spécifiques (par exemple, DSQRT, DSIN, DCOS, etc... pour un argument en double précision).
- Ne resterait donc plus aujourd'hui que l'introuvable compilateur MS FORTRAN Powerstation et Force 2.0. Encore ce dernier produit-il un exécutable qui engendre parfois[1] de fausses erreurs: c'est probablement du à sa gestion du premier caractère des lignes dans le fichier ***.out***, un point qu'il me reste à élucider...

Donc, pour adapter COSAC à ces compilateurs, il vous faudra retrousser vos manches !

[1] Plus précisément, dans 2 exemples sur les 50 fournis.

3.1.3 Un exemple d'arborescence

Vous vous êtes procuré les fichiers archives et les avez décompressés : vous trouverez ci-dessous un exemple d'arborescence où les installer. Dans tous les cas, il faudra placer les bibliothèques de verres (si elles doivent être utilisées) dans le répertoire principal de travail de l'utilisateur (là où il créera ses propres fichiers ***.dat***), ici *Cosac/Dat*. Les fichiers exemples contenus dans les archives ***CosacDat.zip*** et ***CosacOut.zip***, quant à eux, ont été placés dans les répertoires *Cosac/Dat/Test/Dat* (fichiers d'entrée) et *Cosac/Dat/Test/Out* (fichiers de sortie), afin de servir de référence à toute évolution ultérieure du logiciel.



REPERTOIRES	**CONTENU**
Cosac/Doc	Fichiers documentation.
Cosac/Dat	Fichiers d'entrée ***.dat*** créés par l'utilisateur et autres fichiers nécessaires à leur exécution (y compris les bibliothèques de verres ***bibco5.ver***, ***bibgen.ver*** et les ***.agf*** de ZEMAX).
Cosac/Dat/Test/Dat	Fichiers d'entrée exemples (***.dat*** et autres fichiers associés).
Cosac/Dat/Test/Out	Fichiers de sortie correspondants (***.out*** et autres fichiers associés).
Cosac/Exe	Fichiers exécutables et de commande.
Cosac/For	Fichiers source en FORTRAN 77.

3.2 UTILISATION DU PROGRAMME

3.2.1 Trois étapes fondamentales

Vous disposez enfin d'un fichier exécutable du programme COSAC (sinon, retournez au paragraphe précédent). Le mode d'utilisation du logiciel est divisé en trois étapes principales, ainsi que représenté sur le schéma ci-dessous.

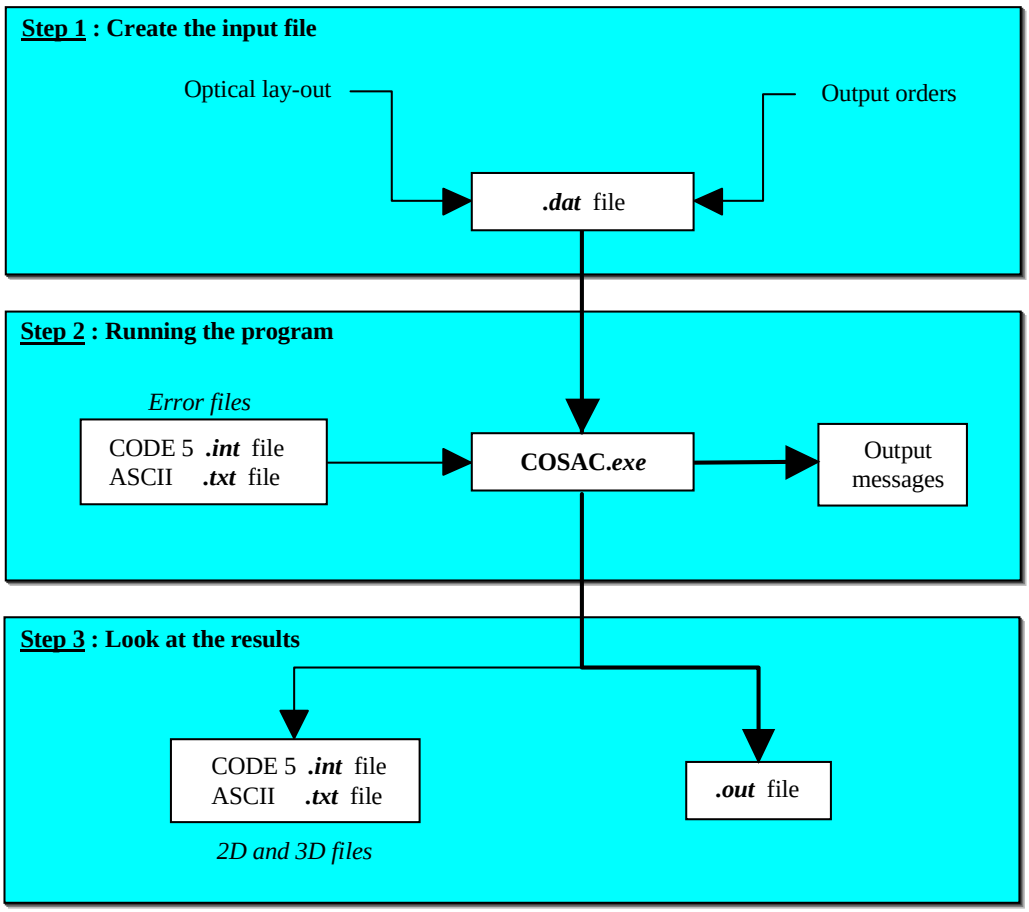


Figure 3-1 : Utilisation du programme COSAC

1) La **première étape** consiste à écrire un fichier d'entrée qui contient la description du système optique étudié, et les calculs et directives de sortie demandés par l'utilisateur. Ce fichier ASCII est caractérisé par son extension ***.dat***. Il est le seul qui soit absolument indispensable à l'exécution du programme.

2) La **deuxième étape** consiste à lancer le programme. Au cours de son exécution, COSAC écrit les résultats des calculs demandés par l'utilisateur dans un fichier de sortie au format ASCII, portant l'extension ***.out***. Ce fichier est automatiquement créé par COSAC. En parallèle, le programme affiche à l'écran un rappel des différentes surfaces optiques du système et de leur paramètres numériques, au fur et à mesure qu'elles sont traitées (cela permet de juger de la rapidité des calculs). Par ailleurs, le programme peut lire en cours d'exécution un certain nombre de fichiers CODE 5 ou ASCII sans en-tête décrivant les défauts des surfaces optiques (voir § 2.5).

3) Il ne reste plus, au cours de la **troisième étape**, qu'à visualiser ou imprimer le fichier de sortie ***.out***. L'utilisateur pourra également consulter d'autres fichiers de sortie créés par le programme au cours de son exécution, contenant les résultats de son choix, sous un format à sa convenance : il peut s'agir de fichiers 2D ou 3D, au format CODE 5 (avec l'extension ***.int***) ou ASCII sans en-tête (par exemple avec l'extension ***.txt***). On se reportera alors au mode d'emploi du programme de visualisation envisagé (CODE 5, SCION Image, IDL, EXCEL, etc...)

On voit donc que le plus gros du travail se réduit essentiellement à la première étape, soit l'écriture du fichier d'entrée ***.dat***. Pour accomplir cette tâche, il y a lieu de :

- Se reporter obligatoirement au chapitre 4 de ce document afin de prendre connaissance de quelques notions de base.
- Consulter les répertoires des instructions d'entrée qui se trouvent dans les modes d'emploi détaillés (vol. 1 et 2) du programme.

Une fois le fichier ***.dat*** créé, il reste à exécuter le programme, ainsi que cela est expliqué dans les paragraphes suivants. Quant à la troisième étape, elle est laissée à votre seule initiative.

3.2.2 Exécution de COSAC en mode interactif

3.2.2.1 Lancement du programme

Pour exécuter le programme, on créera tout d'abord le fichier des instructions, ou fichier d'entrée, en veillant à ce que son nom se termine par ***.dat***. Par exemple : ***exemple.dat***[1]

> Le nom du fichier d'entrée doit être composé au plus de 12 caractères, y compris l'extension ***.dat***.

Puis, se placer dans le répertoire contenant ce fichier ***.dat*** (et les bibliothèques de verres ***bibco5.ver***, ***bibgen.ver*** et ****.agf***, si elles doivent être utilisées), et lancer l'exécution du programme au moyen d'une procédure de commande (ici les "nuls" se contenteront de placer le fichier exécutable dans le même répertoire, puis de cliquer dessus. Ils n'auront pas forcément tort).

Après déroulement de l'en-tête, il est affiché :

NOM DU FICHIER [.DAT] A TRAITER :

Entrer le nom générique du fichier, c'est-à-dire la partie située avant l'extension ***.dat***. Dans l'exemple ci-dessus, on tapera :

exemple ↵

> Ainsi qu'indiqué par le programme, le fichier résultat sera alors automatiquement dénommé
> ***exemple.out***

3.2.2.2 Déroulement du programme

Après divers affichages, le programme peut se terminer de plusieurs manières différentes.

1) **Par le message** :

EXECUTION TERMINEE SANS ERREURS

sur la console et dans le fichier de sortie ***.out***. Cela semble de bon augure...

2) **Par un message d'erreur COSAC explicite**. Par exemple vous verrez:

```
ERREUR LIGNE  10  DU FICHIER test1.dat   :
>GRILL     64     64
INSTRUCTION INCONNUE
```

[1] Attention aux blancs et à la différence entre minuscules et majuscules sous Unix ! Cette remarque vaut également pour tous les noms de fichiers de données ouverts au moyen des instructions contenues dans le fichier ***.dat***.

sur la console et dans le fichier de sortie ***.out***. Dans ce cas, l'erreur a été identifiée par COSAC dès la lecture du fichier d'entrée, et est le plus souvent la conséquence de la mauvaise syntaxe d'une ou plusieurs instructions dans le fichier (ici, il manque un "E" à l'instruction "GRILLE" qui définit le maillage des rayons dans la pupille, à la ligne 10 du fichier ***test1.dat***).

3) **Par un message d'erreur COSAC un peu moins explicite**. Par exemple :

ERREUR SOUS-PROGRAMME LECCO5 A L'OUVERTURE DU FICHIER : test15.int

sur la console et dans le fichier de sortie ***.out***. Dans ce cas, l'erreur s'est produite en cours d'exécution, et est parfois plus difficile à interpréter. L'exemple ci-dessus reste assez simple : COSAC ne trouve pas un fichier défauts de surface déclaré sous le nom ***test15.int***, parce qu'il ne figure probablement pas dans le dossier courant. Mais il y a d'autres messages plus obscurs, dont il vous faudra demander l'explication à l'auteur.

4) **Par un message d'erreur système**. Il est parfois provoqué par une erreur de formatage dans les sorties (valeurs numériques à écrire trop grandes dans le fichier ***.out***). Sinon, il s'agit certainement d'un bogue restant dans le programme, à signaler impérativement à l'auteur.

3.2.2.3 Une fois le programme terminé

Le fichier ***.out*** peut alors être visualisé sur un éditeur de texte (132 colonnes ou plus, de préférence), ou dirigé vers une imprimante (on peut se servir au préalable de l'éditeur pour modifier le fichier avant impression, afin de réduire les listings obèses façon CODE 5 ou ZEMAX). Les autres fichiers de sortie demandés par l'utilisateur (par exemple ***.int*** ou ***.txt***) doivent maintenant figurer dans le répertoire courant, près à être ouverts par le logiciel de son choix.

REMARQUE

On trouvera au début du fichier ***.out*** un rappel du nom du fichier d'entrée, ainsi que la date et l'heure de l'exécution du programme, sous la forme :

19/ 5/2000 22: 6:41   FICHIER : exemple.dat

Dans le fichier ***.out***, on retrouvera cette en-tête en haut de page, chaque fois que l'utilisateur aura spécifié un saut de page.

3.2.3 Exécution de COSAC en mode batch

Lorsque les temps de calcul deviennent trop longs, il est souhaitable de lancer le programme en mode batch. Une telle procédure (permettant de traiter l'un après l'autre plusieurs fichiers d'entrée) fût effectivement développée sous VMS, mais reste à écrire sous UNIX ou Windows.

4. ECRITURE DU FICHIER D'ENTREE

On a vu dans le chapitre précédent que COSAC lit et interprète la description d'un système optique au moyen d'instructions contenues dans un fichier d'entrée (fichier ***.dat***). Mais celles-ci doivent impérativement satisfaire à un certain nombre de conventions et de règles pour être comprises par le programme. C'est pourquoi **ce chapitre est particulièrement important pour le futur utilisateur**. Les instructions d'entrée elles-mêmes sont détaillées dans des documents séparés.

4.1 INTRODUCTION

Un fichier d'entrée COSAC au format ***.dat*** comportera généralement les éléments suivants, de préférence **placés dans cet ordre** (le tout entrecoupé de lignes de commentaires, sans influence sur l'exécution du programme) :

TYPE D'INSTRUCTIONS	*MOT-CLE*
◊ Longueurs d'onde, nombres d'onde ou spectre continu (si nécessaires au calcul)	⇒ LAMBDA, SIGMA, SPECTR
◊ Objet(s) ou source étendue	⇒ OBJET, SOURCE
◊ Pupille (avec ses dimensions)	⇒ PUPILL (suivie d'un masque : CERCLE, RECTAN...)
◊ Nombre et disposition des rayons à tracer (maillage pupille)	⇒ GRILLE, POLAIR…
◊ Surfaces optiques	⇒ MIROIR, DIOPTR, PLAN...
◊ Directives de sortie	⇒ BLOCAG, SPODIA, DIFMAR...
◊ Fin du fichier	⇒ FIN

Objets, pupille, et surfaces optiques sont a priori placés dans un même repère (§ 4.3). Les couples objets/pupille définissent à eux seuls l'ensemble des rayons qui seront tracés dans le système optique durant toute l'exécution du programme (voir le **mode d'emploi détaillé** vol. 1, § 2.3). Les directives de sortie sont le plus souvent des calculs de performance, que l'on peut alterner avec les surfaces optiques pour obtenir des informations intermédiaires (suivi des rayons, par exemple).

4.2 DEFINITION DES AXES

PAR DEFINITION

1) L'axe optique (ou axe de révolution) des surfaces est toujours l'axe X

2) L'axe Y est un axe perpendiculaire à X (il peut être choisi dans la direction la plus commode pour l'utilisateur).

3) L'axe Z est perpendiculaire aux précédents et forme avec eux un repère direct

REMARQUES

1) On recommande de choisir systématiquement l'axe X comme l'axe optique du système, lorsque celui-ci est de révolution.

2) La direction générale des rayons lumineux est indépendante du sens de l'axe X, puisqu'elle est fixée par les définitions de l'objet et de la pupille d'entrée (voir le **mode d'emploi détaillé**, § 2.3). On peut donc avoir des rayons se propageant vers -X.

3) Dans le cadre de certaines applications sol (télescopes, télémètres, etc...), il est usuel d'orienter l'axe Z vers la verticale du lieu : l'angle de rotation autour de l'axe Y devient alors la hauteur, et la rotation autour de l'axe Z, l'azimut.

4.3 TYPE DES REPERES

Les logiciels de calculs optiques utilisent principalement deux types de repères, ainsi qu'illustré dans la figure ci-dessous :

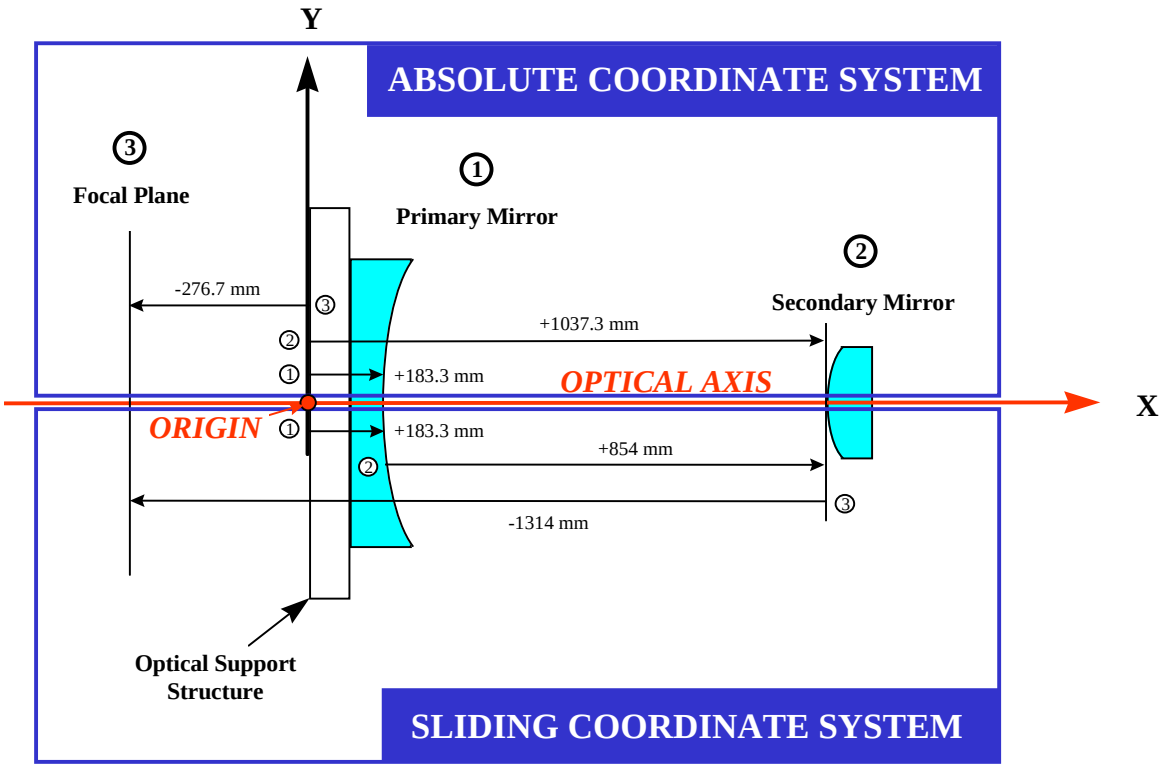


Figure 4-1 : Systèmes de coordonnées absolu et glissant

Repère absolu

Dans ce cas, on définit un seul et même repère pour l'ensemble des surfaces optiques. Cela signifie que pour modéliser un système optique, il est nécessaire de choisir un point origine fixe, puis de disposer les axes X, Y, et Z (voir paragraphe précédent) à partir de ce point, et de calculer les cotes de tous les éléments du système (miroirs, dioptres, masques, etc...) par rapport à cette origine. Ces cotes constituent l'ensemble des paramètres à associer aux instructions qui décrivent les surfaces optiques. COSAC utilise **par défaut** ce système de coordonnées absolu, tel qu'on peut le retrouver dans une modélisation CAO. A noter que la plupart des programmes de calcul de lumière parasite, tels GUERAP et ASAP, font de même.

Repère glissant

Pour certaines applications, il est peu pratique de se ramener systématiquement à un unique repère de référence (cas des faisceaux coudés notamment). On préfère alors définir chaque surface optique par sa position relative par rapport à la précédente, le long de l'axe optique. Tout se passe comme si le repère absolu décrit plus haut "glissait" de surface en surface : le repère courant est replacé à l'origine de chacune des surfaces, au fur et à mesure qu'elles apparaissent dans le fichier d'entrée. Dans ces conditions, les coordonnées en X ne sont plus absolues, mais représentent les distances relatives entre les surfaces optiques. ZEMAX, par exemple, utilise ce système de coordonnées glissant par défaut.

COSAC, quant à lui, présente les particularités suivantes :

1) Par défaut, COSAC travaille dans un seul et même repère de base (repère absolu).

2) Une option permet néanmoins de faire glisser le repère courant le long de l'axe optique X (instruction 'TYPCOX 1')[1].

3) Dans tous les cas, des instructions spéciales (NOUREP et ANCREP) permettent d'effectuer des changements de repère au gré de l'utilisateur (six degrés de liberté), à tout endroit du système optique.

Examinons à présent un exemple concret.

4.3.1 Utilisation d'un repère absolu

Prenons pour exemple le télescope ISO, dont un schéma simplifié est donné Figure 4-1. Sur les plans CAO, le point référence du télescope est la face arrière de la structure porteuse du miroir primaire. Par rapport à ce point, le sommet du miroir primaire est situé à +183.3 mm, le sommet du miroir secondaire à +1037.3 mm, et le plan focal à -276.7 mm. On retrouve bien ainsi les deux distances caractéristiques du télescope, à savoir +854 mm pour la distance primaire/secondaire, et -1314 mm pour la distance secondaire/plan focal. Dans le cas du repère absolu, et suivant la syntaxe COSAC, ce système s'écrirait de la manière suivante[2] (les définitions de l'objet et de la pupille n'apparaissent pas ici):

```
>MIROIR   183.3    0.  0.  0.  0.  0.  2000.   -1.00422124
>MIROIR   1037.3   0.  0.  0.  0.  0.  328.5   -1.60366658
>PLAN     -276.7   0.  0.  0.  0.  0.
```

[mots-clé] [positions et orientations des surfaces optiques] [rayons de courbure et conicité]

[1] Voir le **mode d'emploi détaillé** (vol. 2). Ce glissement de repère ne peut s'effectuer que parallèlement à l'axe X: il n'y a pas par exemple de rotation automatique du repère dans le cas d'un miroir tilté.

[2] Les chiffres intéressants sont les coordonnées suivant l'axe optique X, ici dans la 2ème colonne.

REMARQUE

Un des principaux avantages de ce mode d'écriture est qu'il fait apparaître les désalignements individuels de chaque surface optique (suivant les six degrés de liberté) dans les six paramètres numériques écrits immédiatement après le mot-clé définissant la surface (ici, MIROIR et PLAN), **sans les appliquer aux surfaces suivantes**. Si l'on veut décentrer le miroir primaire de 1 mm suivant l'axe Z sans déplacer le miroir secondaire ni le plan focal, on écrira simplement :

```
>MIROIR   183.3    0.   1.   0.   0.   0.   2000.   -1.00422124
>MIROIR   1037.3   0.   0.   0.   0.   0.   328.5   -1.60366658
>PLAN     -276.7   0.   0.   0.   0.   0.
```

4.3.2 Repère glissant suivant l'axe optique

Ainsi qu'il est dit plus haut, COSAC réserve la possibilité de passer en coordonnées relatives (au moyen de l'instruction TYPCOX), le long de l'axe optique X uniquement. On fait alors apparaître dans le fichier d'entrée les distances aux surfaces suivantes, pour chacun des deux miroirs (on se rapproche ainsi d'un fichier d'entrée de type CODE 5 ou ZEMAX). Pour le télescope ISO, le fichier d'entrée s'écrirait alors :

```
>TYPCOX   1
>MIROIR   183.3    0.   0.   0.   0.   0.   2000.   -1.00422124
>MIROIR   854.     0.   0.   0.   0.   0.   328.5   -1.60366658
>PLAN     -1314.   0.   0.   0.   0.   0.
```

Cette série d'instructions est parfaitement équivalente à celle du paragraphe précédent.

4.3.3 Changements de repère imposés

Une autre possibilité est d'introduire deux changements de repère imposés (au moyen des instructions NOUREP ou ANCREP, voir le **mode d'emploi détaillé** vol. 1), placés avant chaque miroir, comme suit :

```
>NOUREP   183.3    0.   0.   0.   0.   0
>MIROIR   0.       0.   0.   0.   0.   0.   2000.   -1.00422124
>NOUREP   854.     0.   0.   0.   0.   0
>MIROIR   0.       0.   0.   0.   0.   0.   328.5   -1.60366658
>PLAN     -1314.   0.   0.   0.   0.   0.
```

REMARQUES

1) Ici les changements de repère imposés s'appliquent **à toutes les instructions qui les suivent** (miroirs, masques, et changements de repère ultérieurs). Donc il n'est pas équivalent d'introduire un décentrement sur le changement de repère précédant immédiatement un miroir, ou sur le miroir lui-même.

2) Les changements de repère imposés sont particulièrement utiles pour déplacer globalement un groupe de surfaces optiques donné (lentille, doublet...)

4.4 ORDRE DES SURFACES

L'ordre dans lequel les surfaces optiques interviennent réellement au cours du calcul est une caractéristique essentielle des logiciels de tracé de rayons. Il existe deux modes de calcul principaux.

Mode séquentiel

Dans ce mode de calcul, les rayons lumineux sont tracés surface après surface, suivant l'ordre où ils sont censés rencontrer les différents miroirs, dioptres, et masques qui constituent le système optique. On ne s'intéresse ici qu'au cheminement supposé des rayons : ceux qui ne suivent pas le chemin prévu (réflexions ou réfractions parasites ou diffuses) seront rapidement éliminés au cours du calcul. C'est le mode par défaut de COSAC, CODE 5 et ZEMAX.

Mode non-séquentiel

C'est le mode de calcul par défaut des logiciels de lumière parasite (ASAP, APART, etc...). Ici l'utilisateur ne maîtrise plus l'ordre dans lequel les rayons atteignent les surfaces optiques, mais laisse au programme le soin de le déterminer. Les calculs de diffusion, réflexions multiples, ou images parasites deviennent possibles. En contrepartie, les temps de calcul sont notablement allongés.

Les possibilités de COSAC sont les suivantes :

1) Par défaut, COSAC traite les surfaces optiques suivant l'ordre où elles sont écrites dans le fichier d'entrée (mode séquentiel).

2) Il est possible de définir une ou plusieurs zones de tracé de rayons non-séquentiel au sein d'un système optique.

Voyons maintenant cela plus en détail.

4.4.1 Tracé de rayons séquentiel

Ici, l'ordre des surfaces optiques est imposé par l'utilisateur, suivant leur apparition dans le fichier d'entrée. Le logiciel les lit, les numérote, et restera ensuite fidèle à cette numérotation interne (à laquelle on peut accéder grâce à l'instruction SYSTEM, voir le **mode d'emploi détaillé** vol. 1).

4.4.2 Tracé de rayons non-séquentiel

La Figure 4-2 présente un exemple typique de tracé de rayons non-séquentiel : il s'agit du coin de cube, qui présente la particularité de réfléchir tout rayon incident parallèlement à lui-même, après trois réflexions internes sur les faces du cube. La zone des surfaces non-séquentielles se compose de trois miroirs placés à angle droit, et d'un dioptre d'entrée-sortie. Pour chaque rayon entrant, le programme calcule les points d'impact sur chacune des quatre surfaces optiques de la zone non-séquentielle, puis détermine la première surface atteinte (située à la distance positive minimale). Il y a alors réflexion ou réfraction sur cette surface, et le processus recommence jusqu'à ce que le rayon ne puisse plus en atteindre aucune (les points d'impact n'existent plus, ou sont tous situés en arrière). On considère alors que le rayon est définitivement sorti de la zone non-séquentielle. COSAC autorise les réflexions multiples en des points différents d'une même surface.

Les précautions à prendre lorsqu'on définit une zone de tracé de rayons non-séquentielle sont (entre autres) les suivantes :

1) La zone non-séquentielle doit être convenablement placée par rapport à la dernière surface "séquentielle" qui la précède dans le fichier d'entrée. Il faut donc s'assurer que pour tous les rayons définis la distance de la dernière surface séquentielle à la zone non-séquentielle est **positive**. De plus, les vecteurs directeurs des rayons lumineux doivent être effectivement dirigés de la première vers la seconde.

2) A la sortie de la zone non-séquentielle, la première surface séquentielle rencontrée dans le fichier d'entrée servira, entre autres, à recueillir les rayons lumineux. Il faut donc la placer judicieusement.

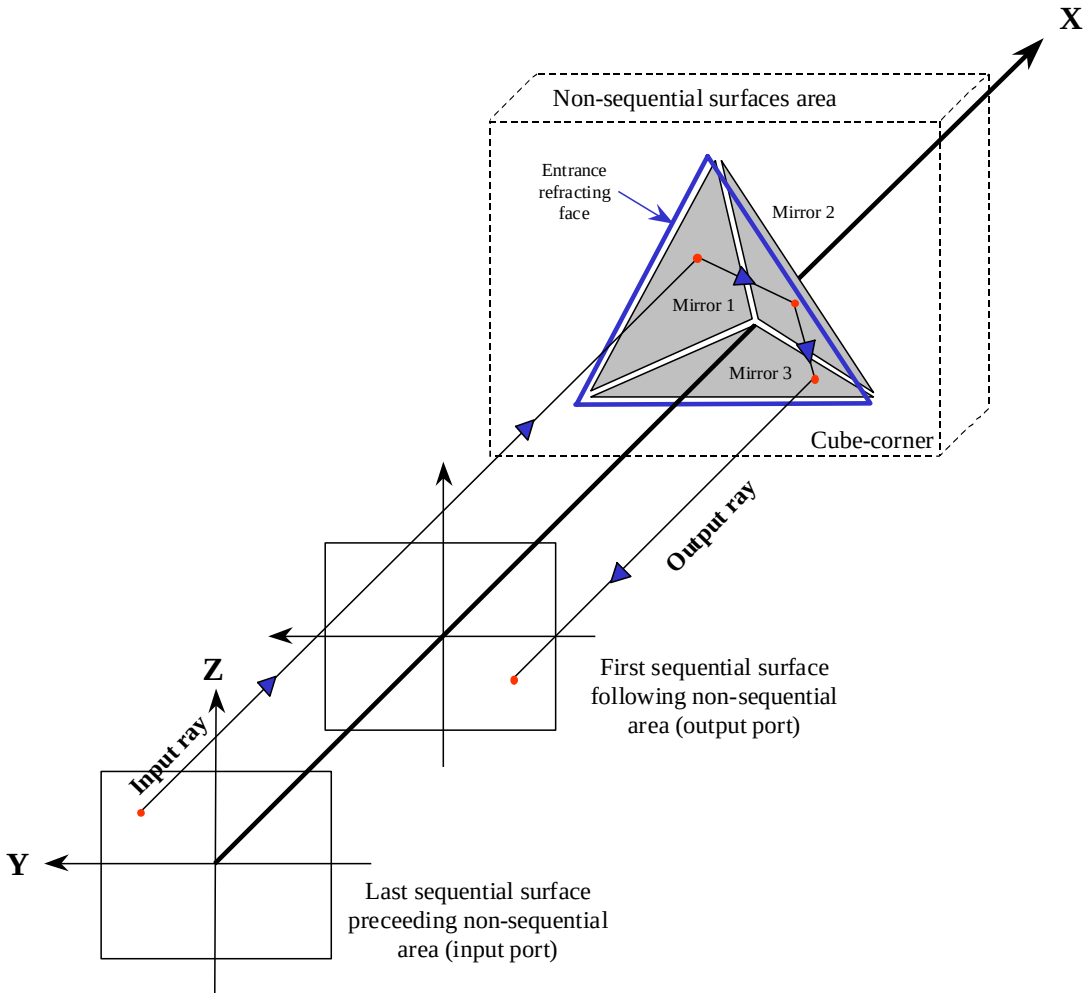


Figure 4-2 : Le coin de cube, exemple de tracé de rayons non-séquentiel

4.5 UNITES PHYSIQUES

Les unités des paramètres numériques introduits dans le fichier d'entrée ou calculés dans le fichier de sortie sont les suivantes :

- Longueurs d'onde (instruction LAMBDA) : **µm**.
- Nombres d'onde (instruction SIGMA) : **cm^{-1}**.
- Distances (coordonnées d'une surface, dimensions des masques, rayons de courbure) : **millimètres**.
- Angles : **milliradians**. Les signes des angles sont positifs dans le sens trigonométrique, de X vers Y, de X vers Z, et de Y vers Z.
- OPD ou différence de chemin optique : **fractions** de la dernière longueur d'onde définie par LAMBDA (ou indirectement par SIGMA).
- Pentes des OPD ou aberrations transversales : **milliradians**.
- Fréquences spatiales (pour FTM) : **mm^{-1}**.
- Flux lumineux : **Watts** ou **photons/s** au choix de l'utilisateur.
- Eclairements : **Watts/m2** ou **photons/s/m2** au choix de l'utilisateur.

Les autres paramètres sont généralement sans dimensions (coefficients compris entre 0 et 1, pourcentages, etc…)

5. CONDITIONS D'UTILISATION

COSAC (Calculs Optiques Simplifiés pour Analyse de Combinaisons) est un moteur de calculs optiques par tracé de rayons, qui a été imaginé, puis développé dans le cadre de mes travaux sur la concentration de l'énergie solaire (IMP CNRS Odeillo, 1983-1987), puis sur des instruments d'optique spatiaux (pour la société Aérospatiale, 1988-1998). L'utilisation du code source et de la documentation est soumise aux conditions suivantes.

Vous pouvez :

- Copier et installer COSAC sur autant d'ordinateurs que vous voulez (quels que soient leurs types).
- Exécuter le programme sans aucune limitation en temps ou nombre d'utilisations, dans un cadre non-professionnel.
- Modifier le code source de manière à améliorer les capacités du programme, et utiliser sans limites ces versions améliorées.
- Envoyer ces dernières à l'auteur pour lui faire plaisir.

Vous ne pouvez pas :

- Utiliser le logiciel dans un cadre professionnel sans en citer la source, ni envoyer à l'auteur une juste compensation sous la forme de spiritueux.
- Reprocher à l'auteur le temps que vous aurez perdu à essayer de faire marcher ce f… programme.
- Vendre le logiciel à autrui.
- Récupérer tout ou partie de COSAC pour l'intégrer dans un logiciel commercial.

Les fichiers ne contiennent a priori pas de virus. Si toutefois vous en découvriez un, veuillez en avertir l'auteur.

6. CONCLUSION

Cette présentation générale de COSAC avait pour but d'informer les utilisateurs potentiels de toutes les capacités du logiciel, et de les aider à l'employer au plus vite. Si des erreurs ont été constatées dans ce document (ou, à plus forte raison, des bugs résiduels du programme), il vous est demandé d'en informer l'auteur promptement.

Pourquoi seriez-vous forcés d'utiliser un logiciel de calcul optique "standard", payant, et le plus souvent yankee ? Et même dans ce cas, COSAC pourra vous aider à résoudre certains problèmes "exotiques" (par exemple, la synthèse d'ouverture optique), éventuellement au prix de quelques modifications, puisque le code source est disponible. COSAC peut également servir de base de comparaison pour valider les calculs effectués à l'aide d'autres logiciels, et mettre en évidence d'éventuelles erreurs de modélisations.

Pour aller plus loin, il faut maintenant se plonger dans le **mode d'emploi détaillé** (volumes 1 et 2), contenant la description des principales instructions, et dans les **exemples** de cas où le logiciel a été réellement utilisé.

! arcniav CASOC